

# INGENIERÍA DE CONTROL 2

---

## Guía de Laboratorio

---

## **VISIÓN**

Al 2021 ser la mejor universidad para el Perú y el mundo en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial.

## **MISIÓN**

Somos una organización de educación superior dinámica que, a través de un ecosistema educativo estimulante, experiencial y colaborativo, forma líder con mentalidad emprendedora para crear impacto positivo en el Perú y en el mundo.

**Universidad Continental**

Material publicado con fines de estudio

Código: ASUC01359

Ing. Carlos Perea Fabián

V.0121-20



## **Presentación**

La presente guía de laboratorio del curso Ingeniería de Control 2 tiene la finalidad de evidenciar a los estudiantes en la práctica los conocimientos teóricos aprendidos.

Primero se desarrollará los sistemas en espacio estados para sistemas de control multivariables. Seguidamente el diseño de controladores PID basados en rediseño digital, por último diseñar controladores basado en espacio estados pero de sistemas discretos, utilizando la transformada Z.

Es importante que los estudiantes lean previamente los capítulos requeridos para llevar adecuadamente los laboratorios y evidenciar su aprendizaje.

*Carlos Perea*



## Índice

Primera unidad .....	5
Semana 3 .....	5
Sistemas espacio estados .....	5
Segunda unidad .....	7
Semana 7 .....	7
Diseño de controladores y observadores.....	7
Tercera unidad .....	10
Semana 11- Sesión 3 .....	10
Sistemas de control digital .....	10
Cuarta unidad .....	12
Semana 14- Sesión 4 .....	12
Sistemas espacio estados digitales.....	12
Referencias .....	15



## Primera unidad

### Semana 3

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente : .....	Nombres : .....
Unidad : Unidad 1	Fecha: ...../...../..... Duración: 150 min

**Instrucciones:** responder de manera clara y concisa cada pregunta estipulada, adjuntar imágenes, simulaciones y código de programación.

### Sistemas espacio estados

I. **Propósito:** el estudiante será capaz de realizar diagramas de control basado en espacio estados y diseñar sistemas matriciales.

#### II. Fundamento teórico

- Espacio estados
- Matrices
- Ecuaciones diferenciales

#### III. Equipos / Materiales

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Laptop	Programa MatLab	1

##### 3.1 Equipos

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Calculadora		
2	Lápices de colores		

##### 3.2 Materiales

#### IV. Indicaciones e instrucciones

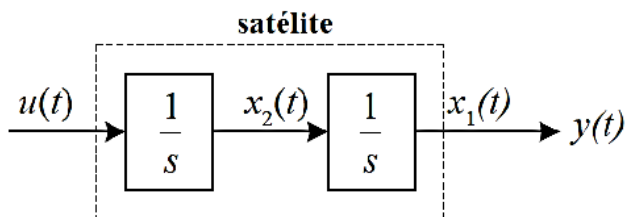


Manejar el entorno de programación de MatLab, comprender la simulación de sistemas en espacio estados

### V. Procedimientos

- Abrir el entorno de Mat Lab
- Elaborar los siguientes problemas

1) (12 pts.)



$$y(t) = [1 \ 1]x(t)$$

las condiciones iniciales de las variables de estado de esta planta vienen dadas por

$$x(0) = \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ y en su entrada actua un estímulo: } u(t) = 2(t); \text{ escalón de amplitud} = 2.$$

- Hallar la ecuación espacio estados (2pts)
- Hallar la F.T del sistema dado (2pts)
- Hallar la respuesta del sistema a las condiciones iniciales y graficar (3pts)
- Hallar la respuesta del sistema a la entrada dada y graficar (3pts)
- Graficar la respuesta total del sistema (2pts)

2) Para el modelo de la planta dada: (8 pts)

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.4 & 1 & 0 \\ -4 & 0 & 40 \\ 0 & 0 & -4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix} u(t)$$
$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix}$$

Hallar:

- Si el sistema se puede controlar (2 pts.)
- Hallar un controlador para una respuesta con  $M_p=15\%$  y  $T_{ss} < 5s$ , colocar las raíces del sistema. (2 pts.)
- Hallar los pesos K del controlador (2 pts.)
- Realizar el diagrama completo de simulación (simplificar el sistema como planta total) (2 pts.)



**Segunda unidad**  
**Semana 7**  
**Diseño de controladores y observadores**

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente : .....	Nombres : .....
Unidad : Unidad 2	Fecha: ...../...../..... Duración: 150 min

**Instrucciones:** Responder de manera clara y concisa cada pregunta estipulada, adjuntar imágenes, simulaciones y código de programación.

**Propósito:** El estudiante será capaz de realizar diagramas de control basado en espacio estados y diseñar sistemas matriciales.

**I. Fundamento teórico**

- Espacio estados
- Matrices
- Ecuaciones diferenciales

**II. Equipos / Materiales**

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Laptop	Programa MatLab	1

**3.1 Equipos**

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Calculadora		
2	Lápices de colores		

**3.2 Materiales**



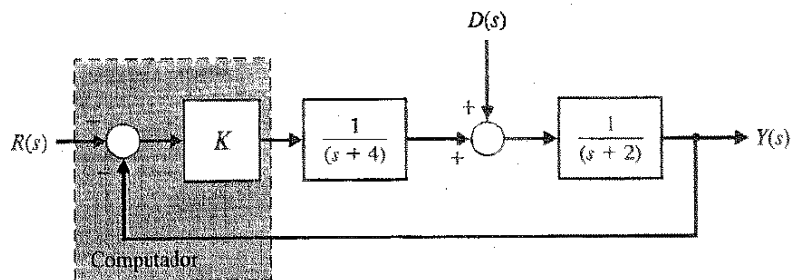
### III. Indicaciones e instrucciones

Manejar el entorno de programación de MatLab, comprender la simulación de sistemas en espacio estados

### IV. Procedimientos

- Abrir el entorno de Mat Lab
- Elaborar los siguientes problemas

1. El sistema de la figura representa el control de un mecanismo para el pintado de autos, el modelo del tornillo sin fin que orienta la boquilla se salida del Spray y el computador se ve en el diagrama, considerar el  $K$  del computador como 2. Y la perturbación  $D(s)$  como 0.



- a) Hallar la representación matricial espacio estados, y definir  $A, B$  y  $C$  (2 pts.)
- b) Hallar la matriz  $S$  de Controlabilidad y definir si el sistema se puede controlar. (2 pts.)
- c) Hallar los pesos  $K$  de control para que el sistema cumpla las siguientes condiciones:
  - Coef. de amortiguamiento ( $\varepsilon = 0.3$ )
  - Frecuencia natural ( $\omega = 4$ )





- Error en estado estacionario igual a 0 (3 pts.)
  
- d) Hallar la matriz  $V$  del observador y definir si el sistema se puede observar. (2 pts.)
  
- e) Hallar los pesos  $K$  del observador, 5 veces más rápido que el controlador. (3 pts.)
  
- f) Dibujar el diagrama completo del sistema en Simulink añadiendo el controlador, el observador y un sistema antifallas para la variable interna. Considerar para la realimentación del controlador que la variable de salida del sistema se toma de la variable real del sistema, mientras que la variable interna se toma del estimado del observador. Simular el sistema con una entrada de referencia escalón de amplitud 5 (8pts).



**Tercera unidad**  
**Semana 11- Sesión 3**  
**Sistemas de control digital**

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente : .....	Nombres : .....
Unidad : Unidad 3	Fecha: ...../...../..... Duración: 150 min

**Instrucciones:** Responder de manera clara y concisa cada pregunta estipulada, adjuntar imágenes, simulaciones y código de programación.

**I. Propósito:** El estudiante será capaz de realizar diagramas de control basado en espacio estados y diseñar sistemas matriciales.

**II. Fundamento teórico**

- Espacio estados
- Matrices
- Ecuaciones diferenciales

**III. Equipos / Materiales**

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Laptop	Programa MatLab	1

**3.1 Equipos**

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Calculadora		
2	Lápices de colores		

**3.2 Materiales**

**IV. Indicaciones e instrucciones**

Manejar el entorno de programación de MatLab, comprender la simulación de sistemas en espacio estados



## V. Procedimientos

-Abrir el entorno de Mat Lab

-Elaborar los siguientes problemas

- 1) Para el sistema  $G(s) = \frac{5}{(s+1)(s+2)}$ , se debe añadir un retenedor ZOH ( $T=0.1s$ ), analizando el sistema en frecuencia, determinar que sucede cuando se le añade un  $K_p$  discreto, para los siguientes casos:
  - a)  $K_p=2$ , MG? y MF? (1 pto.)
  - b) Hallar el rango completo de estabilidad de  $K_p$  (2 ptos.)
  - c)  $K_p$  donde su MF=  $60^\circ$  (1 pto.)
  
- 2) Para el sistema descrito en el problema 1, hallar:
  - a) El error en estado estacionario (2 ptos.)
  - b) Hallar el Rango de  $K_p$ , utilizando la gráfica del lugar geométrico de raíces (2 ptos.)
  - c) Hallar el rango de ganancia  $K_p$  para garantizar un  $mp \leq 50\%$  (2 ptos.)
  
- 3) Utilizando teoría de rediseño digital, determinar un controlador que cumpla las siguientes características:  
Entrada tipo escalón unitario  
 $ess \leq 2\%, mp \leq 30\% (MF \geq 45^\circ)$   
La planta continua viene dada por  $G(s) = \frac{20}{(s+3)(s+4)}$ , agregar un retenedor ZOH ( $T=0.05s$ ). Luego realizar el Diagrama de Bode del sistema añadido el controlador digital para comprobar los requerimientos. (5 ptos.)
  
- 4) Para el sistema descrito en la pregunta 6, hallar un controlador para que el sistema cumpla las siguientes características:  
Entrada tipo escalón unitario  $ess = 0, mp \leq 25\% (MF \geq 40^\circ)$   
Luego realizar el Diagrama de Bode del sistema añadido el controlador digital para comprobar los requerimientos. (5 ptos.)



**Cuarta unidad**  
**Semana 14- Sesión 4**  
**Sistemas espacio estados digitales**

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente : .....	Nombres : .....
Unidad : Unidad 4	Fecha: ...../...../..... Duración: 150 min

**Instrucciones:** Responder de manera clara y concisa cada pregunta estipulada, adjuntar imágenes, simulaciones y código de programación.

**I. Propósito:** El estudiante será capaz de realizar diagramas de control basado en espacio estados y diseñar sistemas matriciales.

**II. Fundamento teórico**

- Espacio estados
- Matrices
- Ecuaciones diferenciales

**III. Equipos / Materiales**

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Laptop	Programa MatLab	1

**3.1 Equipos**

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Calculadora		
2	Lápices de colores		

**3.2 Materiales**



#### IV. Indicaciones e instrucciones

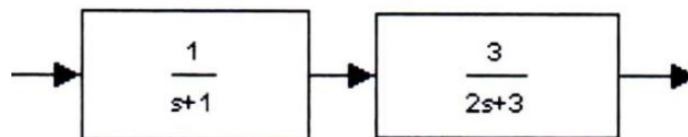
Manejar el entorno de programación de MatLab, comprender la simulación de sistemas en espacio estados

#### V. Procedimientos

- Abrir el entorno de Mat Lab
- Elaborar los siguientes problemas

Una fábrica farmacéutica posee unos motores de corriente continua que se emplean para realizar las mezclas de los productos.

El parámetro crítico en el sistema es el tiempo de respuesta. Después de modelar el sistema continuo, este puede caracterizarse por:



- Hallar la representación matricial espacio estados, y definir  $A, B$  y  $C$  (3 ptos.)
- Hallar la representación matricial del sistema discreto y definir  $\varphi, \rho, C$ .  $T=0.1s$  (3 ptos.)
- Hallar los pesos  $K$  de control para que el sistema continuo cumpla las siguientes condiciones:
  - Coef.  $s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$  de amortiguamiento ( $\varepsilon = 0.4$ )
  - Frecuencia natural ( $\omega = 2$ ) (2 ptos.)
- Hallar los pesos  $G$  para el sistema con un periodo de discretización  $T=2s$  (1 pto.)
- Hallar los pesos  $G$  para el sistema con un periodo de discretización  $T=1s$  (1 pto.)
- Hallar los pesos  $G$  para el sistema con un periodo de discretización  $T=0.5s$  (1 pto.)
- Hallar los pesos  $G$  para el sistema con un periodo de discretización  $T=0.1s$  (1 pto.)



- h)** Dibujar el diagrama completo del sistema en Simulink añadiendo el controlador para sistema continuo y cada controlador de los periodos hallados en d, e, f, g. Simular el sistema con una entrada de referencia escalón de amplitud 2 (8 ptos.)



## Referencias

- OGATA, Katsuhiko. (2003) *Ingeniería de Control Moderna*. 4.s.l. : Pearson, Prentice-Hall.
- OGATA, Katsuhiko. (2006) *Sistemas de Control en Tiempo Discreto*. Prentice Hall Hispanoamericana.
- QUINTERO, Christian y OÑATE, José. (2011) *Control Automático Aplicado*. 1ºed. s.l. : Universidad del Norte.
- NISE, Norman. (2003) *Control Systems Engineering*. 4º ed.. s.l. : Wiley.
- Charles L. Phillips and Royce D. Harbor (1998), *Feedback Control Systems*. Prentice-Hall, Inc.

### I. Recursos digitales:

- <ftp://www.ece.buap.mx/pub/profesor/academ91/Automatizacion2/Libros/Control%20en%20el%20Espacio%20de%20Estado.pdf>
- <http://isa.uniovi.es/~idiaz/SA/Teoria/05-06/SA.Tema9.pdf>